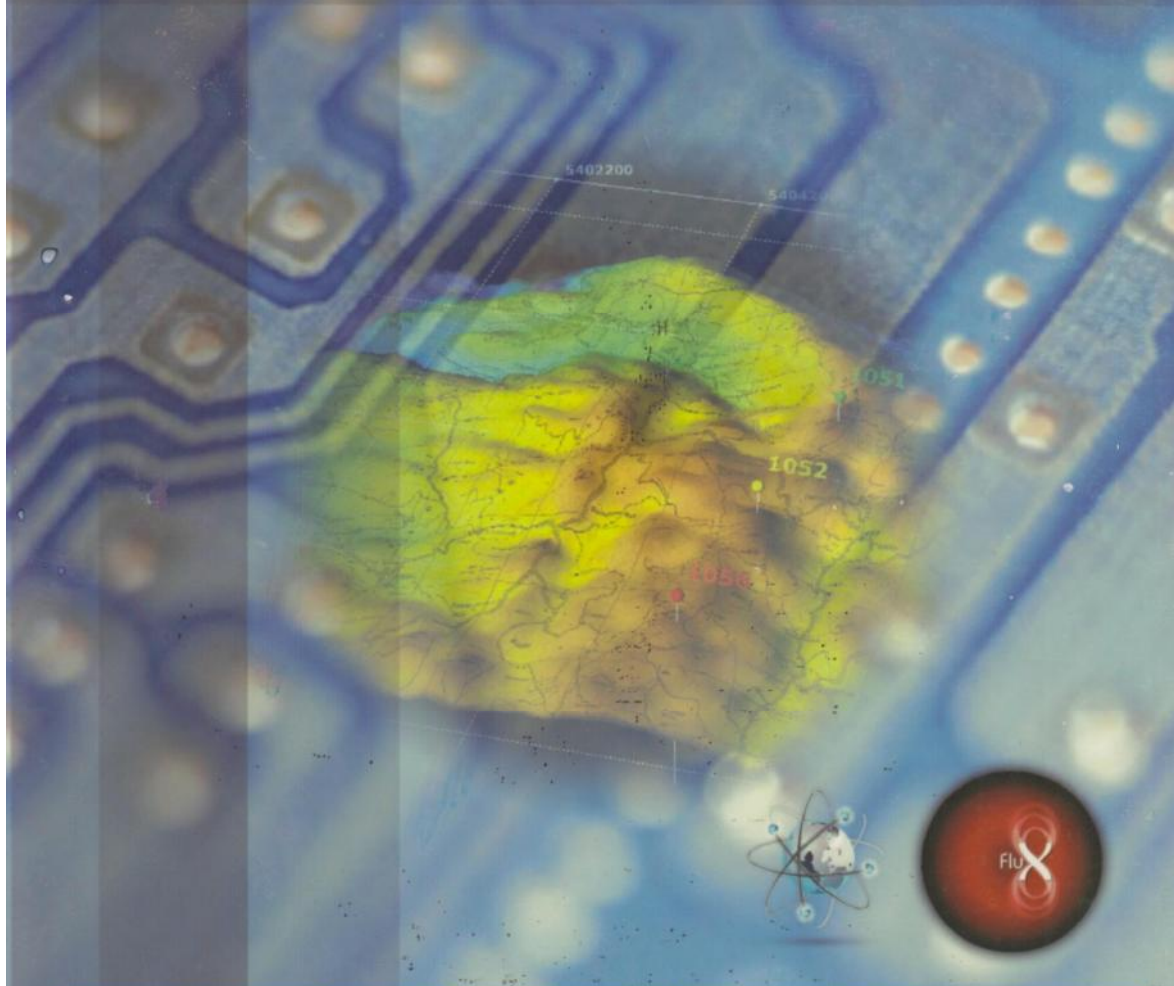


ISSN 1829

B.2

# FLUX

JURNAL ILMIAH FISIKA



FLUX	VOL-6	NO-1	HAL 1-100	Banjarbaru Februari 2009	ISSN 1829-796X
------	-------	------	-----------	-----------------------------	-------------------

# **FLUX**

## **JURNAL ILMIAH FISIKA**

**ISSN 1823-796X**

Volume 6, Nomor 1, Pebruari 2009, Halaman 1-100

---

Terbit dua kali setahun pada bulan Pebruari dan Agustus yang berisi tulisan ilmiah tentang ~~gagasan~~ konseptual dalam bidang Fisika, Fisika Pendidikan, Fisika Interdisipliner Terapan, Hasil Penelitian, Kajian Pustaka, Analisis dan Fisika Teori.

**KETUA PENYUNTING**

Totok Wianto

**WAKIL KETUA PENYUNTING**

Sri Cahyo Wahyono

**PENYUNTING PELAKSANA**

Nurma Sari

Simon Sadok Siregar

Ichsan Ridwan

Tetti Novalina Manik

Nurlina

Fahrudin

**MITRA BESTARI**

Harry Jusron (LIPI)

Warsito (Unila)

Widya Utama (ITS)

Suryajaya (Unlam)

Sudarningsih (Unlam)

**PELAKSANA TATA USAHA**

Soesilowati

Ori Minarto

---

Alamat Penyunting dan Tata Usaha: Program Studi Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat Jl. A Yani Km. 35,800 Banjarbaru 70714, Telp./Faks. (0511) 4773098, E-mail: [totokwianto@yahoo.com](mailto:totokwianto@yahoo.com), [scahyow@yahoo.com](mailto:scahyow@yahoo.com), atau [fisikaunlam@yahoo.com](mailto:fisikaunlam@yahoo.com).

---

Jurnal FLUX diterbitkan setahun dua kali pada bulan Pebruari dan Agustus. Biaya penerbitan naskah Rp. 100.000,- sudah termasuk ongkos kirim. Langganan 2 (dua) nomor setahun sebesar Rp. 50.000,- Pembayaran dapat dikirim melalui rekening BNI Cab. Banjarbaru No. 0081236850 A.n Sri Cahyo Wahyono.

---

Penyunting menerima tulisan yang belum pernah diterbitkan dalam media cetak lain. Naskah diketik pada kertas HVS Kuarto (A4) spasi ganda maksimal 15 halaman, dengan format seperti tercantum pada halaman belakang ("Petunjuk bagi Calon Penulis Jurnal FLUX"). Naskah yang masuk akan dievaluasi dan disunting untuk keseragaman format, istilah, dan tata cara lainnya.

---

Dicetak di Percetakan Physics Press. Isi di luar tanggung jawab Percetakan

**DAFTAR ISI**

- ❖ Analisis Spektral Campuran Linier untuk Deteksi Tutupan Lahan di Daerah Perkotaan Menggunakan Data Satelit Landsat ETM+ (Studi Kasus Kota Banjarbaru dan Sekitarnya).  
*Nurlina (1-16)*
- ❖ Simulasi Perambatan Gelombang Georadar (GPR pada Suatu Media Berlapis).  
*Agus Suprianto (17-25)*
- ❖ Pemanfaatan Citra Landsat ETM+ dan Sistem Informasi Geografis untuk Pendugaan Limpasan Permukaan di DAS Jene'berang Hulu Provinsi Sulawesi Selatan.  
*Nufaika dan Nurlina (26-39)*
- ❖ Pemodelan Sebaran Sistem Hidrotermal dan Identifikasi Jenis Batuannya dengan Metode CSAMT (Studi Kasus Gunungapi Ungaran).  
*Arif Ismul Hadi, Kirbani Sri Brotopuspito dan Wahyudi (40-49)*
- ❖ Pemetaan Lokasi *Fishing Ground* dan Status Pemanfaatan Perikanan di Perairan Selat Madura.  
*Firman Farid Muhsoni, Mahfud Efendy dan Haryo Triajie (50-64)*
- ❖ Perumusan Fungsi Green Sistem Osilator Harmonik dengan Menggunakan Metode Integral Lintasan (*Path Integral*).  
*Sutisna (65-77)*
- ❖ Termometer dengan Keluaran Suara Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 untuk Mengukur Suhu Ruang  
*Misto (78-88)*
- ❖ Karakterisasi Antena Mikrostrip dengan Metode FDTD dalam Substrat FR4 untuk Frekuensi Kerja 2,4 .  
*Nurma Sari dan Tetti Novalina Manik (89-100)*

## KATA PENGANTAR

Jurnal ilmiah Fisika FLUX adalah jurnal ilmiah Fisika yang diterbitkan oleh Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lambung Mangkurat. Jurnal FLUX diterbitkan setiap bulan Pebruari dan Agustus, yang berisi tulisan ilmiah tentang gagasan konseptual dalam bidang Fisika, Fisika Pendidikan, Fisika Interdisipliner Terapan, Hasil Penelitian, Kajian Pustaka, Analisis dan Fisika Teori.

FLUX Volume 6 Nomor 1 bulan Pebruari 2009 merupakan terdiri dari 8 tulisan mengenai bidang Fisika, 3 tulisan dari Universitas Jember, 1 tulisan dari Universitas Bengkulu, 1 tulisan dari Universitas Negeri Gorontalo, 1 tulisan dari Universitas Trunojoyo dan 2 tulisan dari Universitas Lambung Mangkurat.

Akhirnya saran dan kritik untuk kemajuan Jurnal Ilmiah Fisika FLUX ini kami harapkan, semoga tulisan yang disajikan bermanfaat bagi pembaca.



# **Pemodelan Sebaran Sistem Hidrotermal dan Identifikasi Jenis Batuannya dengan Metode CSAMT: Studi Kasus Gunungapi Ungaran**

## **(Modeling of the Hydrothermal System Distribution and Identification of its Rock Type by CSAMT Method: A Case Study of Ungaran Volcano)**

**Arif Ismul Hadi<sup>1</sup>, Kirbani Sri Brotopuspito<sup>2</sup>, dan Wahyudi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Jurusan Fisika FMIPA Universitas Bengkulu, e-mail: [ismulhadi@yahoo.com](mailto:ismulhadi@yahoo.com)*

<sup>2</sup> *Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada*

### **ABSTRACT**

The investigation of the hydrothermal system distribution and identification of its rock type has been done by CSAMT method at Ungaran Volcano area. The acquisition data has been done around 750 m×100 m area with 4 lines at N75°E direction. Sounding site distanced 250 m, whereas the data was measured by *Stratagem* model 26716-01 Rev.D. Processing of the data was started by 1-D inversion of Robust method. The 1-D results were then used as the input of MT2D software. The results showed that subsurface resistivity were 8.6 to 46.4  $\Omega$  m estimated as hydrothermal system, 55.8 to 102.6  $\Omega$  m estimated as aquifer zone or permeable saturated zone, 145.3 to 495.7  $\Omega$  m estimated as pre-caldera rock associated with vapor dominated zone, and 1420.5 to 15.083  $\Omega$  m estimated as lava pile associated with basaltic and andesitic rock. The most prospective hydrothermal system area existed at all along line 4 on 30 to 140 m depth.

**Keywords:** *Audio-frequency Magneto-telluric, hydrothermal system, and collapse structure*

### **PENDAHULUAN**

Metode CSAMT (*Controlled Source Audio-frequency Magneto-telluric*) merupakan salah satu metode survei dengan menggunakan sistem induksi elektromagnetik untuk mengetahui resistivitas listrik batuan bawah permukaan. Prinsip dasar metode CSAMT adalah medan elektromagnetik primer akan dipancarkan ke seluruh arah oleh dipol listrik yang *digroundkan*. Pada saat medan elektromagnetik primer mencapai permukaan bumi di daerah lain, maka medan elektromagnetik akan menginduksi arus pada lapisan-lapisan bumi yang dianggap konduktor. Arus tersebut disebut sebagai arus *telluric* atau arus *eddy*. Adanya arus *telluric* pada lapisan-lapisan bumi ini menyebabkan timbulnya medan elektromagnetik sekunder yang kemudian dipancarkan kembali ke seluruh arah sampai di permukaan bumi. Pengukuran medan sekunder inilah yang dicatat oleh receiver untuk memperoleh informasi tentang pengukuran lapisan di bawah permukaan bumi. Informasi yang diperoleh berupa impedansi gelombang elektromagnetik sekunder yang dihasilkan rapat arus *telluric* pada masing-masing lapisan. Setiap lapisan mempunyai nilai konduktifitas yang berbeda-beda, sehingga medan elektromagnetik sekunder yang

dihasilkan juga akan berbeda-beda bergantung pada jenis lapisannya. Metode CSAMT ini sudah banyak dimanfaatkan untuk penelitian panas bumi.

Pemanfaatan energi panas bumi yang paling efisien adalah dengan memanfaatkan batuan terobosan yang masih panas dan relatif dangkal, yang umumnya terletak di sekitar gunungapi. Untuk mendapatkan energi panas bumi tersebut, perlu adanya reservoir air bawah permukaan yang dipanaskan oleh batuan beku panas atau magma yang disebut sebagai sistem hidrotermal. Energi panas bumi di daerah gunungapi bila ditinjau dari pola penyebaran aliran panas (*heat flow*) merupakan daerah anomali. Daerah anomali tersebut meliputi: erupsi, aliran lava, fumarol, dan air panas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan memodelkan sebaran sistem hidrotermal dan mengidentifikasi jenis-jenis batuan di daerah prospek panas bumi Gunungapi Ungaran berdasarkan nilai resistivitas batuan. Nilai resistivitas yang rendah di daerah gunungapi ini diduga sebagai sistem hidrotermal. Aspek penting dari sebuah model untuk sistem sebaran hidrotermal dalam daerah gunungapi akan menampakkan keberadaan sumber panas bumi.

Penurunan persamaan untuk metode MT maupun CSAMT dikembangkan mengikuti pendekatan Cagniard (1953). Asumsi dasar yang digunakan dalam pendekatan Cagniard tersebut: pertama, bumi dianggap lapisan horizontal dimana masing-masing lapisan mempunyai sifat homogen isotropis. Kedua, gelombang elektromagnetik alam yang berinteraksi dengan bumi merupakan gelombang bidang.

Persamaan Maxwell menyatakan bahwa setiap perubahan medan magnet  $\mathbf{H}$  akan menimbulkan medan listrik  $\mathbf{E}$  atau sebaliknya. Dengan menganggap bahwa bumi bersifat homogen isotropis (Grant and West, 1965), sifat fisik medium tidak bervariasi terhadap waktu dan tidak ada suatu sumber muatan dalam medium yang ditinjau, sehingga diperoleh persamaan Maxwell dalam bentuk :

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0, \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0. \quad (4)$$

Persamaan gelombang untuk medan listrik dan medan magnet secara terpisah yang merupakan fungsi waktu sebagai berikut :

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \sigma \mu \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \varepsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad \text{dan} \quad \nabla^2 \mathbf{H} - \sigma \mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} - \varepsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0. \quad (5)$$

Apabila variasi terhadap waktu dinyatakan sebagai fungsi sinusoidal, maka akan diperoleh persamaan (Grant and West, 1965) :

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \text{Re} \tilde{\mathbf{E}}(\mathbf{r}, \omega) e^{i\omega t} \quad \text{dan} \quad \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \text{Re} \tilde{\mathbf{H}}(\mathbf{r}, \omega) e^{i\omega t}, \quad (6)$$

dengan  $\omega$  adalah frekuensi sudut, maka persamaan (8) dan (9) menjadi :

$$\nabla^2 \mathbf{E} = i\sigma\mu\omega \mathbf{E} - \epsilon\mu\omega^2 \mathbf{E} \quad \text{dan} \quad \nabla^2 \mathbf{H} = i\sigma\mu\omega \mathbf{H} - \epsilon\mu\omega^2 \mathbf{H}. \quad (7)$$

*Skin depth* adalah jarak pelemahan gelombang elektromagnetik dalam medium homogen sehingga menjadi  $1/e$  (~37%) dari amplitudo di permukaan. Dengan menggunakan pendekatan *quasi-static* dan mengasumsikan nilai permeabilitas  $\mu = \mu_0 = 1,256 \times 10^{-6}$  H/m, maka diperoleh persamaan (Zonge and Hughes, 1988) :

$$\delta = 503 \left[ \frac{\rho}{f} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

dengan  $\delta$  = *skin depth* (m),  $\rho$  = resistivitas medium homogen (  $\Omega \cdot \text{m}$  ), dan  $f$  = frekuensi gelombang elektromagnetik (Hz). Untuk mendapatkan resistivitas yang sebenarnya dimana bumi mempunyai resistivitas yang heterogen diperoleh dengan cara membuat model dan diturunkan hubungan antara resistivitas semu dan resistivitas sebenarnya (metode inversi). Nilai impedansi  $Z$  dan resistivitas semu  $\rho_a$  yang diperoleh berdasarkan pendekatan Cagniard (1953) adalah:

### 1. Medium Homogen Isotropis

$$|Z| = (\omega\mu_0\rho)^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

$$\rho_a = \frac{1,27 \times 10^5}{f} \left| \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{H}} \right|^2, \quad (10)$$

dengan  $\rho_a$  adalah resistivitas semu dalam  $\Omega \cdot \text{m}$  dan  $\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{H}}$  adalah impedansi gelombang dalam  $\text{VA}^{-1}$ .

### 2. Medium N-Lapis

$$|Z_n| = |Z_1| \left| \coth \left[ -ik_1 h_1 + \frac{1}{\coth \left\{ \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{1}{2}} \coth \left[ -ik_2 h_2 + \frac{1}{\coth \left\{ \left( \frac{\rho_3}{\rho_2} \right)^{\frac{1}{2}} \right.} \right.} \right.} \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \coth \left[ -ik_3 h_3 + \dots + \frac{1}{\coth \left\{ \left( \frac{\rho_{n-2}}{\rho_{n-1}} \right)^{\frac{1}{2}} \coth \left[ -ik_{n-1} h_{n-1} + \frac{1}{\coth} \right.} \right.} \right. \right. \right. \right. \right.$$

Pada sistem hidrotermal, fluida bertemperatur tinggi berada dalam batuan reservoir yang permeabel dan berpori. Menurut White (1967), air yang berasal dari permukaan bumi akan mengalami proses penyaringan. Proses penyaringan ini terjadi pada saat air melewati struktur batuan yang permeabel pada kedalaman tertentu. Pada kedalaman tersebut, air mengalami proses pemanasan karena adanya kontak yang dekat dengan ruang magma. Mekanisme pemanasan air dalam reservoir memudahkan terjadinya aliran panas secara vertikal melalui lapisan kulit bumi. Penurunan permeabilitas terhadap kedalaman menunjukkan bahwa produksi panas bagian dalam lebih besar daripada bagian di atasnya. Adanya gaya apung di dalam reservoir akan menyeimbangkan kolom air panas dan air dingin. Selanjutnya gaya ini mendorong fluida ke atas dan kembali ke permukaan bumi melalui saluran permeabel lainnya.



Fluida dan batuan reservoir dalam sistem panas bumi biasanya saling bereaksi mengakibatkan alterasi (perubahan) fase padat dan cair, sehingga menghasilkan mineral baru. Perubahan fase ini disebabkan adanya sebaran temperatur yang berbeda-beda dalam reservoir panas bumi. Secara umum bentuk alterasi hidrotermal meliputi mineralogi, tekstur, dan respon kimia batuan termal maupun lingkungan kimianya berubah yang ditandai oleh kenampakan air panas, uap air, dan gas (Wohletz and Heiken, 1992).

## **METODOLOGI PENELITIAN**

Daerah penelitian terletak pada posisi geografis  $7^{\circ}11'$  LS dan  $110^{\circ}20'$  BT (van Padang, 1951) dengan ketinggian antara 890 – 1110 m di atas MSL, mencakup 4 buah lintasan pengukuran (arah  $N75^{\circ}E$ ) seluas  $750 \times 100$  m. Adapun masing-masing titik *sounding* pada lintasan tersebut berjarak 250 m.

Akuisisi data di lapangan menggunakan peralatan CSAMT model *Stratagem 26716* Rev. D. Alat ini digunakan untuk mengukur intensitas medan listrik dan medan magnet dalam frekuensi tertentu (Geometrics, 2000), sedangkan proses pengolahan data digunakan satu set komputer dengan perangkat lunak antara lain : *Fortran Visual Workbench*, *Surfer* versi 6.0, *MT1D*, *MT2D*, dan milimeter blok untuk pembuatan *gridding*.

Akuisisi data dimulai dengan melakukan pengesetan alat baik penerima maupun pemancar. Pada alat penerima dilakukan pengukuran terhadap jarak elektroda potensial utara selatan ( $E_y$ ) dan timur-barat ( $E_x$ ). Sensor magnetik juga di arahkan utara-selatan ( $H_y$ ) dan timur-barat ( $H_x$ ), dilevelkan dengan *water-pass*, kemudian dipendam agak dalam untuk menghindari adanya *noise*. *Setting* frekuensi dilakukan pada 3 *band* frekuensi: (*band* 1: 10 – 1 KHz), (*band* 4: 500 – 3 KHz), dan (*band* 7: 750 – 92 KHz), kemudian *disetting peak to peak* gelombangnya, sehingga data yang diperoleh baik dan akurat. Selanjutnya harga-harga dari panjang elektroda, posisi topografi ( $x,y,z$ ) baik dari pemancar maupun penerima dimasukkan ke dalam komputer untuk diproses pada saat dimulai akuisisi data.

Proses pengolahan data CSAMT dimulai dari data yang diperoleh yang terdiri dari frekuensi, koherensi, resistivitas semu dan fasa. Data *output* tersebut pada 3 *band* frekuensi masih terpisah, maka untuk menyusun agar data tersebut mempunyai jangkauan frekuensi rendah sampai tinggi, maka digunakan program ubah\_Z/susun\_Z. Dalam program ubah\_Z/susun\_Z dipilih nilai koherensi yang paling tinggi ( 1). Data yang masih tersisa tersebut berupa: frekuensi, resistivitas semu, dan fasa. Pemilihan jumlah titik yang dipergunakan ditentukan berdasarkan kualitas data yang akan diinterpretasi.

Proses selanjutnya adalah menentukan nilai-nilai frekuensi yang mempunyai nilai yang sama dalam satu lintasan pengukuran sebagai masukan program inversi *MT1D* dan

*MT2D*. Program inversi *MT1D* menggunakan pendekatan metode Robust, sedangkan inversi *MT2D* menggunakan pendekatan metode beda hingga. Masukan untuk *MT1D* berupa: tebakan awal jumlah lapisan, jumlah frekuensi, tebakan awal resistivitas, tebakan awal ketebalan, nilai-nilai frekuensi data lapangan, nilai-nilai resistivitas semu dan nilai-nilai fasa. Hasil keluaran program inversi *MT1D* berupa : kedalaman dan resistivitas sebenarnya pada satu titik *sounding*. Hasil inversi *MT1D* akan baik dan diterima jika nilai *importance* data lapangan dan hasil perhitungan bernilai 1.

Hasil inversi *MT1D* kemudian digunakan sebagai *input MT2D*, selanjutnya dibuat *grid* model resistivitas sebenarnya dengan arah titik *sounding*  $x$  dan kedalaman  $z$ . Titik simpul *grid* antara baris  $x$  dan kolom  $z$  menjadi nilai masukan resistivitas sebenarnya. Informasi yang dibutuhkan *MT2D* diantaranya: jumlah blok, jumlah titik *sounding*, *spacing grid* baris  $x$ , *spacing grid* kolom  $z$ , nilai model awal resistivitas sebenarnya, jumlah frekuensi, nilai-nilai frekuensi dan data lapangan. Selanjutnya program *MT2D* tersebut siap *dirun* sampai memperoleh nilai *error* yang paling minimal. Adapun hasil keluaran inversi *MT2D* berupa blok resistivitas sebenarnya pada arah lateral sebagai fungsi kedalaman.

Interpretasi data didasarkan pada kontras resistivitas batuan. Parameter-parameter tersebut dapat menaikkan dan menurunkan resistivitas batuan. Pori batuan yang terisi air akan memperlebar jangkauan nilai resistivitas batuan, yang mengakibatkan adanya *overlap* terhadap batuan lainnya, sehingga akan menyulitkan identifikasi jenis batuan (Schon, 1998). Untuk dapat mengidentifikasi jenis batuan secara tepat, maka tinjauan geologi daerah penelitian sangat penting untuk diketahui.

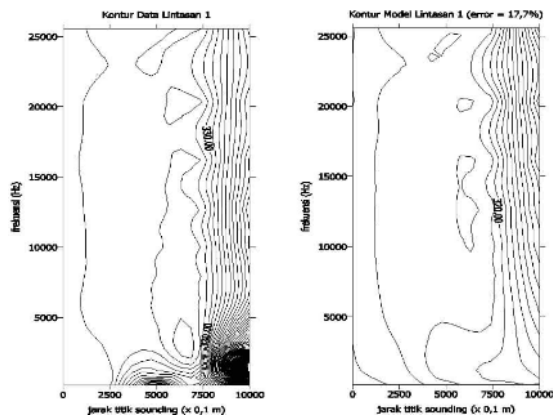
## **HASIL DAN DISKUSI**

Data yang telah diolah dengan menggunakan *software MT2D* dapat dilihat hubungan antara pola kontur *pseudo-section* resistivitas semu data lapangan dengan kontur *pseudo-section* resistivitas semu hasil perhitungan. Nilai resistivitas sebenarnya yang dihasilkan pada masing-masing blok adalah:

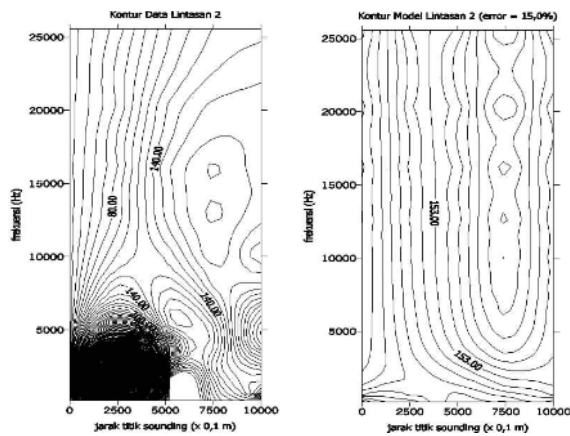
Blok 1 = 8,6 m – 46,4 m. ; Blok 2 = 55,8 m – 102,6 m.

Blok 3 = 145,3 m – 495,7 m. ; Blok 4 = 1420,5 m – 15083 m.

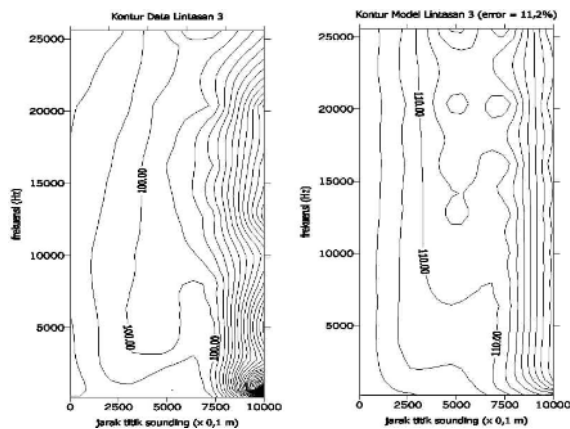
Pola kontur *pseudo-section* resistivitas semu data lapangan dengan kontur *pseudo-section* resistivitas semu hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 1, 3, 5, dan 7, sedangkan penampang 2-D resistivitas sebenarnya yang diinterpretasi dapat dilihat pada Gambar 2, 4, 6, dan 8.



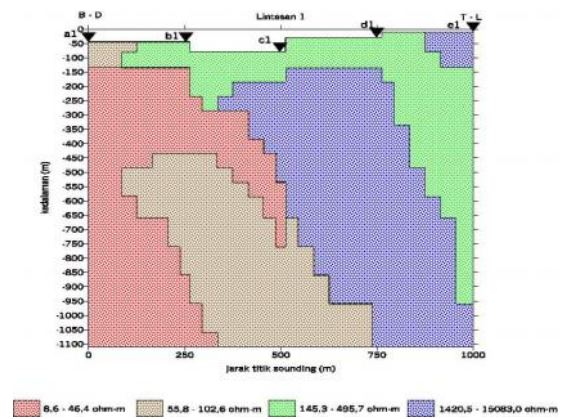
Gambar 1. Perbandingan kontur resistivitas semu data lapangan dan model pada lintasan 1.



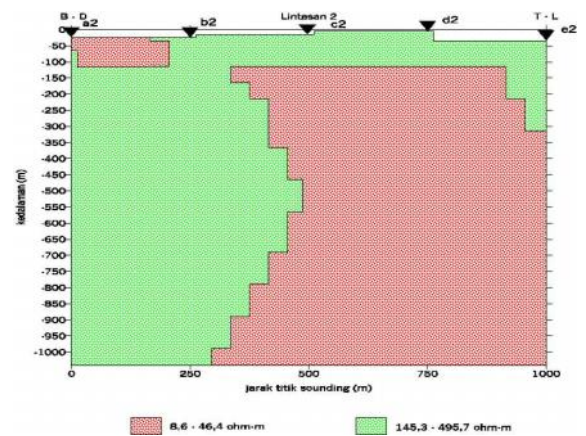
Gambar 3. Perbandingan kontur resistivitas semu data lapangan dan model pada lintasan 2.



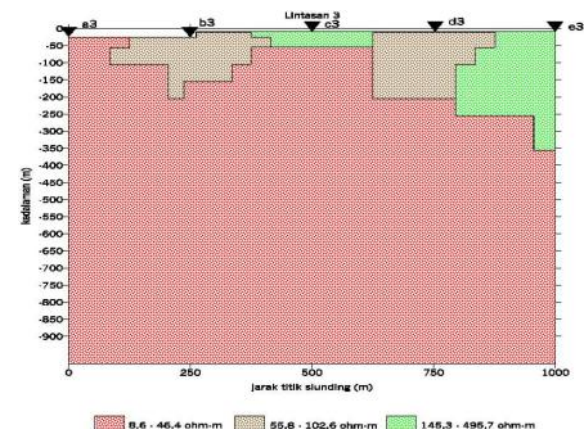
Gambar 5. Perbandingan kontur resistivitas semu data lapangan dan model pada lintasan 3.



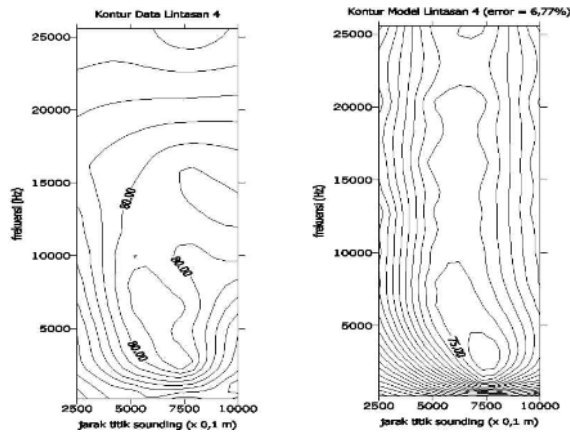
Gambar 2. Penampang 2-D resistivitas sebenarnya pada lintasan 1.



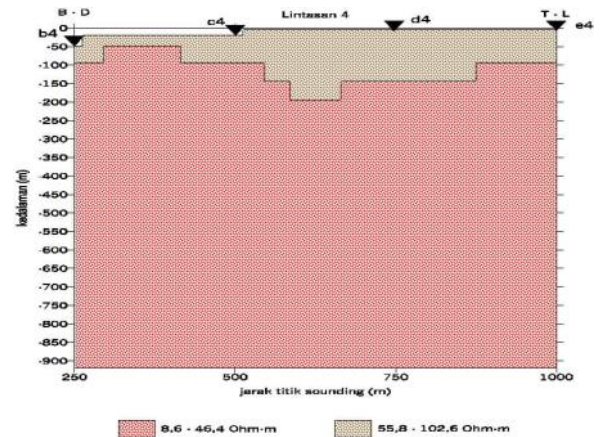
Gambar 4. Penampang 2-D resistivitas sebenarnya pada lintasan 2.



Gambar 6. Penampang 2-D resistivitas sebenarnya pada lintasan 3.



Gambar 7. Perbandingan kontur resistivitas semu data lapangan dan model pada lintasan 4.



Gambar 8. Penampang 2-D resistivitas sebenarnya pada lintasan 4.

Berdasarkan hasil di atas dan model geoelektrik ideal gunungapi menurut Lenat (1995), tampak bahwa daerah dengan resistivitas rendah (blok 1,  $= 8,6-46,35 \text{ m}$ ) merupakan daerah sistem hidrotermal. Namun pada titik *sounding*  $a_2$  dan  $a_3$  (di permukaan) diperkirakan bukan termasuk pada daerah ini, dimana resistivitas sebenarnya pada titik *sounding* tersebut  $= (29,9-42,8 \text{ m})$  dan  $= (35,8-42,7 \text{ m})$  disebabkan pada daerah tersebut berada pada lintasan sungai dan sawah yang mengandung air permukaan. Hal tersebut disebabkan karena sifat air dapat menurunkan resistivitas batuan berpori mendekati resistivitas air, sehingga mengakibatkan respon resistivitas yang rendah (Schon, 1998).

Daerah resistivitas rendah sampai sedang (blok 2,  $= 55,8-102,6 \text{ m}$ ) yang banyak berdekatan dengan sistem hidrotermal, diperkirakan merupakan zona akuifer atau *saturated zone* yang permeabel. Nilai resistivitas sedang (blok 3,  $= 145,3-495,7 \text{ m}$ ) diperkirakan merupakan batuan pra-kaldera yang kemungkinan berasosiasi dengan daerah yang didominasi oleh uap air (*vapor-dominated zone*). Menurut Budiardjo, et al., (1997) dan Lenat (1995) batuan tersebut mempunyai jangkauan resistivitas  $= 100 - 1000 \text{ m}$ .

Untuk resistivitas tinggi (blok 4,  $= 1420,5-15083 \text{ m}$ ) diperkirakan merupakan *lava pile* (Lenat, 1995) yang berasosiasi dengan batuan basalt-andesit (Telford, et al., 1998). Menurut Lenat (1995) jangkauan resistivitas batuan tersebut berkisar  $= 200-10.000 \text{ m}$ , sedangkan menurut Telford, et al. (1998) jangkauan resistivitas batuan tersebut berkisar  $= 10-1,3 \times 10^7$  (untuk basalt) dan  $1,7 \times 10^2$  (untuk andesit). Dilihat dari satuan morfologi Gunungapi Ungaran, daerah penelitian ini termasuk satuan morfologi Gunungapi Ungaran muda, yang menghasilkan banyak aliran lava yang komposisinya antara basaltis sampai andesit.

Analisis hidrotermal didasarkan pada kekonduktifan suatu batuan, dimana semakin konduktif maka batuan tersebut sangat berhubungan dengan sistem hidrotermal. Dari hasil penelitian ini tampak bahwa daerah sistem hidrotermal yang paling prospektif berada pada lintasan 4 ( = 9,8-12 m) pada kedalaman 30-140 m. Hal ini sangat berkaitan dengan adanya sumber mata air panas (*hot-spring*) di Desa Banaran yang terletak di atas lintasan 4. Dapat dikatakan bahwa medan panas bumi pada batuan berporositas tinggi, air panas akan menyebar secara lateral dekat permukaan.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1. Berdasarkan nilai konduktivitasnya maka daerah resistivitas dapat dibagi: resistivitas rendah (blok 1, = 8,6-46,4 m) diduga merupakan daerah sistem hidrotermal, daerah resistivitas rendah sampai sedang (blok 2, = 55,8-102,6 m) merupakan zona akuifer atau *saturated zone* yang permeabel, daerah resistivitas sedang (blok 3, = 145,3-495,7 m) merupakan batuan pra-kaldera yang berasosiasi dengan *vapor-dominated zone*, dan daerah resistivitas tinggi (blok 4, = 1420,5-15.083 m) merupakan *lava pile* yang berasosiasi dengan batuan basaltis sampai andesit.
2. Daerah sistem hidrotermal yang paling prospektif berada sepanjang lintasan 4 pada kedalaman 30-140 m.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiardjo, B., Nugroho and M. Budihardi. 1997. *Resource Characteristics of the Ungaran Field, Central Java, Indonesia*. Seminar Nasional Sumber Daya Manusia Geologi Indonesia. Fakultas Teknologi Mineral. UPN "Veteran". Yogyakarta.
- Cagniard, L. 1953. Basic Theory of the Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. *J. Geophysics*. Vol 18.
- Geometrics. 2000. *Operation Manual for Stratagem Sistem Running IMAGEM* Ver. 216 Geometrics Inc. 2190 Fortune Drive. San Jose. CA 95131. USA.
- Grant, F.S and G.F. West. 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. McGraw-Hill Inc. New york. USA.
- Jupp, D.B.L., and K. Vozoff. 1976. Two-Dimensional Magnetotelluric Inversion. *J. Geophysics*. Vol. 50.
- Lenat, J.F. 1995. *Resistivity in Volcanic Regions*. <http://ghp712.geo.uni-leipzig.de/~geosf/research/ERT/volcres.html>.
- Schon, J.H. 1998. *Physical Properties of Rock : Fundamental and Principles of Petrophysics*. Pergamon. Leoben.
- Telford, W.M., L.P. Geldart and R.E. Sheriff. 1998. *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press. New York.
- van Padang, N. 1951. *Catalogue of the Active Volcanoes of the Word Including Solfatara Fields*. Part I Indonesia.

- White , D.E. 1967. *Some Principles of Geyser Activity, Mainly from Steamboat Springs*. Nevada.
- Wohletz, K., and G. Heiken. 1992. *Volcanology and Geothermal Energy*. University of California Press. Los Angeles.
- Zonge, K.L., and L.J. Hughes. 1988. *Controlled Source Audio-frequency Magnetotellurics*. Zonge Engineering and Research Organization Inc. Tucson. Arizona.